

**OPINNÄYTETYÖ**  
**MIKKO SIIVOLA 2013**

**Mobiilikeilaimet ja niiden käyttö ratateknisissä mittauksissa.**



**Rovaniemen**  
**ammattikorkeakoulu**  
University of Applied Sciences  
LUC

**MAANMITTAUSTEKNIikka**

ROVANIEMEN AMMATTIKORKEAKOULU

TEKNIikka JA LIIKENNE

Maanmittaustekniikka

Opinnäytetyö

# **MOBIILIKEILAIMET JA NIIDEN KÄYTTÖ RATATEK- NISSÄ MITTAUKSISSA**

Mikko Siivola

2013

Toimeksiantaja Proacon Oy

Ohjaaja Pasi Laurila

Hyväksytty \_\_\_\_\_ 2013 \_\_\_\_\_  
Työ on kirjastossa lukusallikappale.



Rovaniemen  
ammattikorkeakoulu  
University of Applied Sciences  
LUC

Tekniikka ja liikenne      Opinnäytetyön  
Maanmittaustekniikka    tiivistelmä

---

<b>Tekijä</b>	Mikko Siivola	<b>Vuosi</b>	2013
<b>Toimeksiantaja</b>	Proacon Oy		
<b>Työn nimi</b>	Mobiilikeilaimet ja niiden käyttö ratateknisissä mittauksissa		
<b>Sivu- ja liitemäärä</b>	25		

---

Tässä opinnäytetyössä perehdytään mobiililaserkeilaimiin sekä niiden käyttöön radalla tehtävissä mittaustöissä.

Työ antaa yleiskatsauksen mobiililaserkeilaimiin ja niiden toimintaperiaatteisiin. Tässä työssä esitellään erityisesti Riegl VMX-450 mobiililaserkeilausjärjestelmä sekä Trimble MX8 mobiililaserkeilausjärjestelmä.

Ratamittausten osalta käydään läpi perusperiaatteet ja tyypillisimmät radalla suoritettavat mittaustyöt. Lisäksi perehdytään mobiililaserkeilaimella suoritettaviin ratamittauksiin. Työssä esitellään myös erityisesti ratamittauksiin suunniteltu Amberg GRP5000-radanmittausvaunu.

Avainsanat: Laserkeilaus, mobiililaserkeilaus, ratamittaus

---

<b>Author</b>	Mikko Siivola	<b>Year</b>	2013
<b>Commissioned by</b>	Proacon Oy		
<b>Subject of thesis</b>	Mobile Laser Scanners and Using Them in Track Measurements		
<b>Number of pages</b>	25		

---

This thesis focused on mobile laser scanners and their use in track measurements.

The thesis gave an overview of mobile laser scanners and their operating principles. This thesis focused on the Riegl VMX-450 mobile laserscanning system and the Trimble MX8 mobile laser scanning system.

In the part of track measurements this thesis discussed the basic principles and the typical track measurement works. The thesis also discussed the track measurements using the mobile laser scanners. The thesis also demonstrated showcase the Amberg GR5000 track measuring wagon that is especially designed for track measuring.

**Keywords:** laser scanning, mobile laserscanning, track measurements

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>1</b>
1.1 TYÖN TAVOITTEET JA TAUSTAA .....	1
1.2 LYHENTEET, KÄSITTEET JA MÄÄRITELMÄT .....	1
<b>2 PROACON OY.....</b>	<b>2</b>
<b>3 LASERKEILAN JA SEN TOIMINTAPERIAATE .....</b>	<b>2</b>
3.1 MITÄ LASERKEILAUUS ON? .....	2
3.2 KEILAINTEEN LUOKITTELU .....	3
3.3 LAATU .....	4
3.4 MITATTUJEN PISTEPILVIEN YHDISTÄMINEN .....	4
3.5 AIKAEROLASER .....	5
3.6 VAIHE-EROLASER .....	6
3.7 MONIPISTELASER .....	6
3.8 JATKUVA-AALTOINEN PULSSILASER .....	8
<b>4 MOBIILISKANNAUS JA SEN TOIMINTAPERIAATE .....</b>	<b>9</b>
4.1 KAMERA OSANA MOBIILIKEILAUUSYKSIKKÖÄ.....	10
4.2 KÄYTTÖKOhteET .....	11
4.3 GNSS .....	12
4.4 SATELLIITTIPAIKANNUKSEN TOIMINTAPERIAATE .....	13
4.5 INERTIAMITTAUSYKSIKKÖ, IMU .....	14
4.6 RIEGL VMX-450 .....	15
4.7 TRIMBLE MX8.....	16
<b>5 RATAMITTAUKSET .....</b>	<b>18</b>
5.1 RADALLA TYÖSKENTELYÄ OHJAAVAT MÄÄRITYKSET JA ASIAKIRJAT .....	18
5.2 MITTAUSTYÖT .....	18
5.3 KARTOITUS .....	18
5.4 MAASTOMALLI.....	19
5.5 RADAN PISTEET .....	19
5.6 MOBIILIKEILAUUS OSANA RATAMITTAUKSIA.....	20
5.7 AMBERG GRP5000 .....	20
<b>LÄHTEET.....</b>	<b>25</b>

## 1 JOHDANTO

### 1.1 Työn tavoitteet ja taustaa

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on käsitellä mobiililaserkeilaimia ja niiden käyttöä ratamittauksissa. Työssä perehdytään erilaisiin mobiiliskannauslaitteisiin, niiden ominaisuuksiin, mittaustehokkuuteen ja käyttöön ratamittauksissa. Lisäksi työssä esitellään Amberg GRP5000-radanmittausvaunu sekä vertaillaan kahta erilaista mobiililaserkeilainta; Riegl VMX-450 sekä Trimble MX8.

Maanmittaus on rakennusmittauspuolella kehittynyt laitteiden osalta suuresti viime vuosina. Erityisesti erilaisten laserkeilainten käyttö rakentamisessa ja suunnittelussa on yleistynyt nopeasti. Uutena staattisten keilainten rinnalle ovat tulleet liikuteltavat keilaimet, eli mobiilikeilaimet. Ne tarjoavat nopean ja joustavan tavan kerätä suuria määriä georeferoitua spatiaalista dataa. Lisäksi niissä yhdistyvät kerätty pistepilviaineisto sekä suuriresoluutioiset valokuvat mittaustulosten tarkastelua ja jatkokäsittelyä helpottamaan.

### 1.2 Lyhenteet, käsitteet ja määritelmät

ATU	Aukean tilan ulottuma Raidetta pitkin kulkeva tila, jolle ei saa sijoittaa kiinteitä rakenteita.
Georeferointi	Sijaintia koskevan tiedon liittäminen kuvaan.
GNSS	Global Navigation Satellite System. Sisältää GPS, Galileo, Glonass ja Compass satelliittipaikannusjärjestelmät.
IMU	Inertial Measurement Unit on laite, joka mittaa omaa sijaintiaan liikkeessä tapahtuvien muutosten avulla, kun lähtöpiste tunnetaan.
RATO	Ratatekniset ohjeet
RHK	Ratahallintokeskus

## **2 PROACON OY**

Proacon Oy on vuonna 2010 perustettu asiantuntijaorganisaatio. Se on erikoistunut ympäristö- ja rakennusalan mittaus- ja laadunvalvontatehtäviin. Proaconin palveluihin kuuluvat muun muassa; 3D-mobiilikartoitus, ratamittaus RAMI-Wagon radanmittausvaunulla, rakennuttamispalvelut sekä ympäristö- ja jätehuollon asiantuntijapalvelut. Yritys toimii niin julkisella kuin yksityisellä sektorilla. Yrityksen Pohjois-Suomen toimisto sijaitsee Rovaniemellä ja Etelä-Suomen toimisto Järvenpäässä. Palveluita toimitetaan koko Suomen alueella, sekä kansainvälisesti.

(Proacon 2012)

## **3 LASERKEILAN JA SEN TOIMINTAPERIAATE**

Laserkeilan on mittauslaite, jolla voidaan mitata pisteitä ja pistepilviä koskematta kohteeseen. Mittaus muistuttaa monessa suhteessa prismattomalla takymetrillä tehtävää mittauksia. Mittalaitteessa on nollapiste, josta lähetetään lasersäde, jonka avulla mitataan kohteen etäisyys ja suunta mittalaitteesta. Koordinaattitiedon lisäksi keilain tallentaa jokaiselle mitatulle pisteelle myös intensiteettiä paluusignaalin voimakkuuden perusteella.

### **3.1 Mitä laserkeilaus on?**

Laserkeilauksessa kohteiden pintaa mitataan kolmiulotteisesti reaaliaikaisesti ja automaattisesti. Keilausta, eli skannausta käytetään usein mittaamaan erilaisia pintoja ja kohteen spatiaalisia suhteita. Skannausaineiston jälkikäsittelyssä saadusta mittausaineistosta voidaan myös mallintaa viivoja ja muita geometrisia piirteitä. Laserskannaus on optinen mittausmenetelmä, eli mitattavan kohteen tulee näkyä skannerista. Jotta varjoalueilta välttyttäisiin on kohde yleensä mitattava useasta suunnasta. Saadut aineistot on tämän jälkeen yhdistettävä eli rekisteröitävä toisiinsa, jotta kaikki saatu mittausaineisto olisi samassa koordinaatistossa. Usein saatu skannausaineisto halutaan vielä saada tunnettuun koordinaattijärjestelmään esimerkiksi EUREF-FIN, tällöin saatu pistepilvi aineisto on georeferoitava.

Keilaimet mittaavat myös täysin pimeässä, sillä kyseessä on aktiivinen mittaus tapa, laserkeilain lähettää säteen mitattavan kohteen pintaan ja mittaa sen

paluusäteen heijastumista kohteesta. Jos keilain sisältää kameran voidaan mitattava kohde kuvata samanaikaisesti, jolloin saatu pistepilvi aineisto voidaan jälkikäsitellyssä värjätä oikean väriseksi.

Laserkeilausta voidaan tehdä staattisesti tai mobiilisti. Staattisessa mittauksessa keilain mittaa paikallaan jalustan päällä kuten esimerkiksi takymetri. Mobiilissa keilauksessa skanneri asennetaan liikkuvan jalustan päälle ja mitaus tapahtuu liikkeestä. Mobiiliskannaukseen tarvitaan myös lisälaitteita jotta saatu aineisto voidaan yhdistää ja georeferoida. Tarvittavia lisälaitteita ovat inertianavigointijärjestelmä sekä geodeettinen GPS-laite. (Joala V. 2006.)

### **3.2 Keilainten luokittelu**

Laserkeilaimet voidaan luokitella kolmeen pääluokkaan:

- 1.Kaukokartoitus-laserkeilaimet: Käytetään lentokoneista, lennokeista, helikoptereista tai avaruusaluksilta. Tämän tyyppisten keilainten mittausetäisyys on tyypillisesti 0,1-100km ja mitatun pisteen tarkkuus tyypillisesti yli 10cm.
2. Maalaserkeilaimet: Käytetään mittauksiin matkoille 1-300m. Näiden keilainten tarkkuus on alle 2cm. Maalaserkeilaimia käytetään tyypillisesti mobiilikeilausyksiköissä.
3. Teollisuuslaserkeilaimet: Käytetään kun halutaan mitatta pieniä kohteita alle millimetrin tarkkuudella ja alle 30 metrin etäisyydeltä.

Mobiiliskannausyksiköissä käytettävät laserkeilaimet ovat tyypillisesti kupolimaisesti mittaavia, joten mittaamatta jää ainoastaan pieni alue laitteen alapuolelle. Puutteena on myöskin ollut se rajoite, että mitattavien pisteiden välimatka kasvaa etäisyyden funktiona, jolloin yksityiskohtaisten mittauksien suorittaminen yli 20 metrin etäisyydellä on ollut hankalaa. Laitteet kuitenkin pystyvät fokusoimaan mittausaluetta myös pitkille matkoille, jolloin pistepilven tiheys ei matkan kasvaessa paljoakaan heikkene.

(Joala V. 2006.)



### 3.3 Laatu

Keilaimella mitatun pistepilven laatuun vaikuttavat kolme tärkeää kriteeriä:

1. Yksittäisen mitatun pisteen laatu.
2. Pistepilven tiheys.
3. Erikseen mitattujen pistepilvien yhdistämisen laatu.

Yksi laatuun vaikuttava tärkeä tekijä on mitattujen pisteiden hajonta. Tähän vaikuttaa oleellisesti mittaussäteen osumiskulma mitattuun kohteeseen. Kohteita mallintaessa onkin tärkeää seurata jäännösvirheitä.

Mittausmatkan kasvaessa mitatusta kohteesta palaava signaali heikkenee. Paluusignaalin voimakkuus riippuu myös mitattavan kohteen pinnan ominaisuuksista. Keilaimen lähettämä signaali heijastuu eritavalla vedestä kuin esimerkiksi maalatusta seinäpinnasta. Myös mitattavan pisteen pinnan kaa-revuus vaikuttaa paluusignaalin voimakkuuteen. Jotkin keilaimet tallentavat mitatun pisteen koordinaattien lisäksi myös paluusignaalin voimakkuuden. Paluusignaalin voimakkuus voidaan esittää visuaalisesti tiekoneen näytöllä jokaiselle pisteelle erikseen värierona tai eri harmaasävyinä. Intensiteettiä hyväksi käyttäen voidaan tasomaiselta pinnalta erottaa myös eri tekstuureita. Jos keilaimessa on sisäinen kamera, voidaan jokaiselle pisteelle määrittää pisteen oikea väri.

(Joala V. 2006.)

### 3.4 Mitattujen pistepilvien yhdistäminen

Staattisella mittaustavalla mitattaessa tarvitaan tietoa, myös ”varjoon” jäävis-tä alueista, tällöin tarvitaan alueen mittaamiseen useampi kojeasema. Mobii-liskannauksella keilaimen liikkeessa varjoon jäävät alueetkin tulevat mitattua.

Tarkin yhdistämismenetelmä on tähysten käyttö. Eli jokaisesta mitatusta pis-tepilvestä tulee löytyä ainakin kolme yhteistä koodattua tähyistä. Tähyksien keskipisteet tulee mitata keilaimella. Jos halutaan saada mitattu pistepilvi aineisto ympäröivään koordinaatistoon, tulee tähyksien keskipisteet mitata takymetrillä riittävän tarkkoista lähtöpisteistä. Tällä menetelmällä pistepilvet saadaan yhdistettyä noin 1-3 millimetrin tarkkuudella.

Pistepilviä voidaan yhdistää myös käyttäen yhteisiä mallinnettuja kohteita. Tällä menetelmällä kahdesta erikseen mitatusta pistepilvestä haetaan yhteisiä selkeitä kohteita kuten tasoja tai lieriöitä. Kohteille annetaan koodit ja niitä käytetään pistepilvien yhdistämiseen. Tämä tapa ei kuitenkaan ole yhtä tarkka kuin käytettäessä tähyksiä.

Yksi tapa yhdistää pistepilviä on yhdistää pilvet käyttäen apuna yhteisiä alueita. Tämä vaatii sen että kahdessa yhdistettävässä pilvessä olisi ainakin kolmasosa yhteistä peittoa. Yhteiset peittoalueet sovitaan päällekkäin, sen jälkeen molemmat pilvet yhdistetään samaan koordinaatistoon. Tämän menetelmän tarkkuus on käytännössä noin 5-10mm. On tavallista että suuremmissa projekteissa käytetään kaikkia yllä olevia tapoja pistepilvien yhdistämiseen.

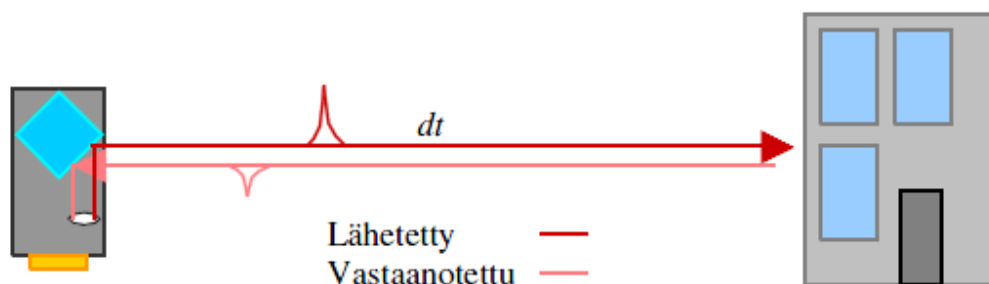
(Joala V. 2006.)

### 3.5 Aikaerolaser

Aikaerolaserit, eli pulssilaserit lähettävät laserpulssin kahden suuntakulman määrittämään suuntaan avaruudessa. Keilain mittaa laserpulssin matkaan käyttämän ajan ja näin saadaan yksittäisen pisteen sijainti suhteessa keilaimen. Tarkkuus riippuu keilaimen ajanmäärityksen tarkkuudesta, kohteen ja pulssin ominaisuuksista sekä kaavasta:

$$r = \frac{dt * c}{2}$$

jossa r on mitattu etäisyys, dt on pulssin mitattu kulkuaika ja c valonnopeus. Kun keilan lähettää pulsseja eri suuntiin saadaan muodostettua ympäristöstä kolmiulotteinen näkymä. Pulssilaserilla voidaankin mitata etäisyyksiä suurella vaihteluvälillä, yli kilometristä muutamaan metriin, mutta sen havainto tarkkuus on muutaman tuhannen havainnon luokkaa. (Kukko, 2005. 6-7.)

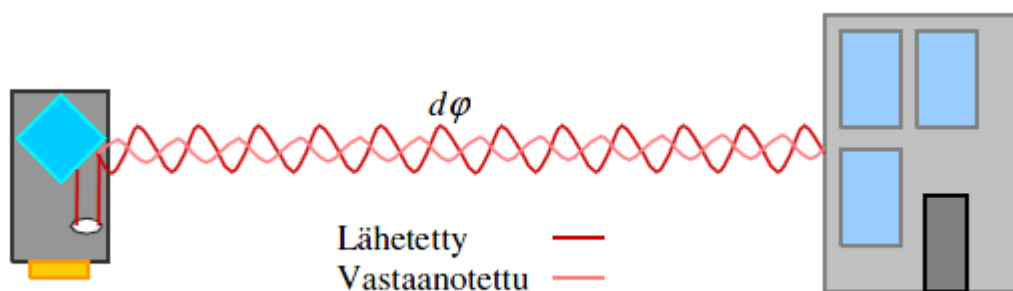


Kuvio 1. Aikaerolaseri, eli pulssilaserin toimintaperiaate.

### 3.6 Vaihe-erolaser

Vaihe-erolaser, eli jatkuva-aaltainen laser lähettää jatkuvaa signaalia, jonka intensiteetti on moduloitu siniaallolla tai jollain muulla vastaavalla monimuotoisella aaltomuodolla, jossa on useita eri kanta-aallonpituuksia. Lähetetty signaali heijastuu kohteesta ja lähetetynsignaalin ja kohteesta heijastuvan paluusignaalin vaihe-ero mitataan. Kun käytetään usean eri aallonpituuden modulointia, saadaan kanta-aallon kokonaislukutuntematon ratkaistua luotettavasti. Etäisyyshavainto saadaan kokonaislukutuntemattoman ja vaihe-eron avulla.

Vaihe-erolaserin toistotaajuus on huomattavasti pulssilaseria suurempi. Vaihe-ero laser pystyy jopa 250kHz taajuuksiin ja tästä syystä muodostettu kolmiulotteinen näkymä ympäristöstä on huomattavasti tarkempi. Havaintoetäisyys on kuitenkin rajoittunut noin sataan metriin. (Kukko, 2005. 7.)



Kuvio 2. Vaihe-erolaserin, eli jatkuva-aaltoisen laserin toimintaperiaate.

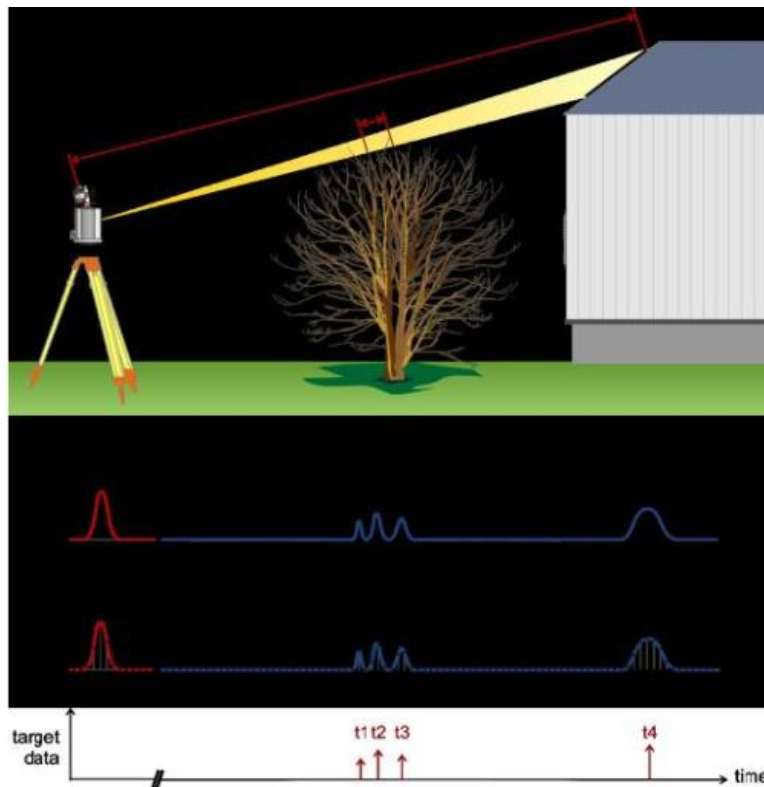
### 3.7 Monipistelaser

Monipistelaser on digitaalinen pulssilaser jonka toiminta perustuu täyden aallonmuodon analysointiin ja digitointiin. Siinä mitataan pulssin edestakainen kulkuaika. Palautunut signaali digitoidaan, jolloin siitä voidaan erottaa useita eri kaikuja. Jos mittauspulssi osuu vähintään koko säteen poikkipinnan kokoiseen tasomaiseen pintaan saadaan tästä pinnasta yksi kaiku. Kaiun muoto riippuu pinnan ominaisuuksista, sen materiaalista, väristä ja pehmeydestä. Jos mittauspulssi osuu osittain eri pintoihin on palautuva kaiku muodoltaan epämääräinen tai se muodostuu useammasta toisistaan eroteltavista erimuotoisista kaiuista.

Kun koko palautuva signaali digitoidaan saadaan kaiut eroteltua toisistaan. Jokaista osakaikua verrataan kaikukirjastoon, jolloin saadaan erimuotoiset kaiut tulkittua matemaattisesti eri kaavoilla laskettuna. Lasketut pisteet saadaan luokitelluiksi sekä mittausjärjestyksensä että laatunsa perusteella. Digitaalinen mittauspulssin käsittely on tuonut pulssilaserin yhdeksi nopeimmista mittaustekniikoista laserkeilaimissa.

Monipistelaser on normaalia pulssilaseria tarkempi ja saatu pisteaineisto on helpompi jatkokäsittellä pisteiden luokittelun vuoksi. Mittaustarkkuus on tarkempi sillä jokaiselle saadulle pisteelle voidaan laskea tarkempi arvo, kun voidaan käyttää jokaiselle materiaalille ominaista palautuvaa pulssin muotoa. Monipistelaserin pulssi voi osua moneen eri pintaan ennen kuin se on kokonaan heijastunut takaisin. Pistepilvessä näkyy ”ilmapisteitä” ja pistesuihkuja, jotka vaikeuttavat aineiston käsittelyä. Monipistetekniikassa näitä ”ilmapisteitä” ja pistesuihkuja ei juurikaan esiinny vaan muodostuu erillisiä pisteitä jokaiseen hipaistuun pintaan. Ulkona mitattaessa puiden lehdet, pensaat ja heinät estävät kokonaisen säteen osumisen haluttuun mittauspintaan, jolloin laskettu mittauspiste voi olla missä vain säteen ensimmäisen ja viimeisen kosketuspinnan välissä. Monipistetekniikalla peitteisestä pinnasta muodostuu jokaiselle kosketuspinnalle omat luokitellut pisteensä, jolloin myös halutulle oikealle pinnalle tulostuu oma luokiteltu piste.

(Heinonen, 2012)



Kuvio 3. Monipistelaserin kaiun digitointi. (Heinonen, 2012)  
(Heinonen, 2012; Nordic Geo Center Oy, 2012.)

### 3.8 Jatkuva-aaltainen pulssilaser

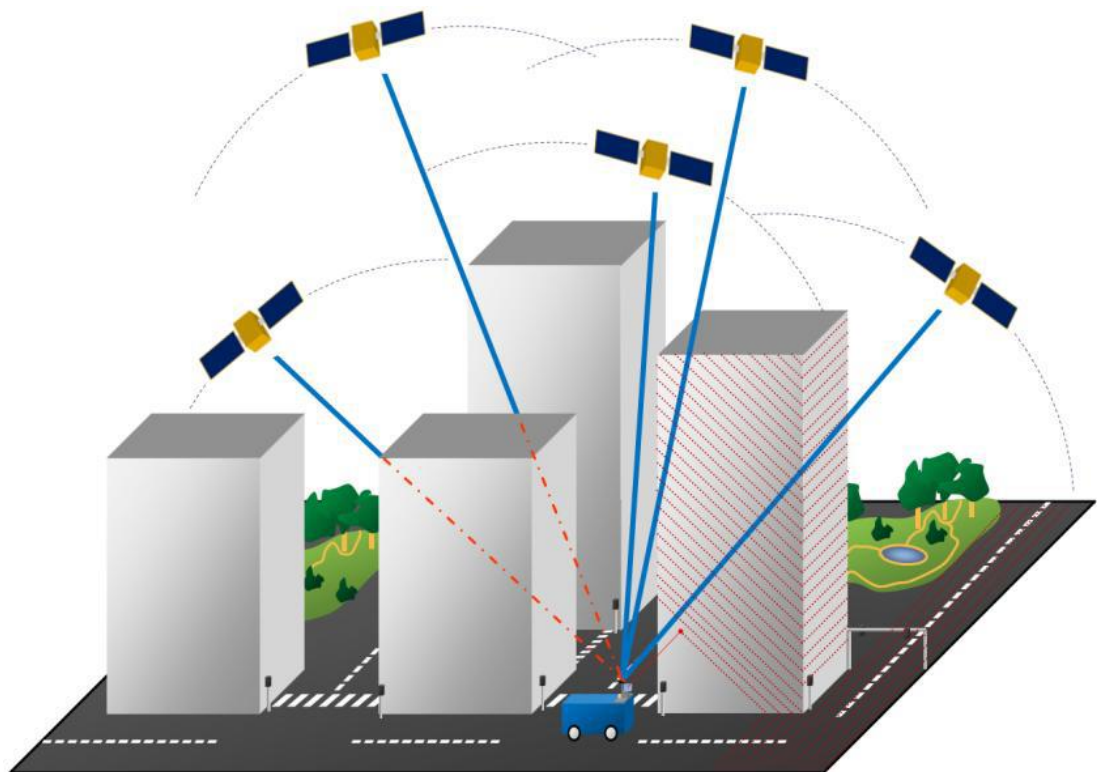
Jatkuva-aaltainen pulssilaser on pulssi- ja vaihe-erolaserin yhdistelmä. Sen toiminta perustuu, samasta aallosta aikaerotekniikalla rekisteröitävään pulssin kulkuaikaan, jolla saadaan määritettyä mitatun pisteen karkea etäisyys. Vaihe-ero tekniikalla saadaan samasta aallosta rekisteröityä taajuuden vaihe-ero ja näin määritettyä tarkka etäisyys. Kun pulssilaserilla saadaan määritettyä nopeasti kohteen etäisyys desimetritarkkuudella voidaan vaihe-ero mittauksessa käyttää lyhyttä yksikköjanaa, jonka pituus on alle metrin. Lyhyttä yksikköjanaa käytettäessä saadaan tarkka lopputulos hienomittauksessa. Tämän mittaustekniikan etuna on etäisyydenmittaustarkkuuden säilyminen hyvänä koko matkan. (Heinonen, 2012)

#### 4 MOBIILISKANNAUS JA SEN TOIMINTAPERIAATE

Mobiiliskannaus, eli liikkuva kartoitus tarkoittaa liikkuvalta alustalta tehtävää ympäristön mallintamista. Liikkuvana alustana voidaan käyttää esimerkiksi autoa, venettä tai lennokkia. Keilaimen sijainti saadaan selville GNSS-paikantimen ja inertiamittausyksikön tai takymetrin tuottaman sijaintitiedon avulla tai jälkilaskentaprosessissa. Mitatun aineiston orientointiin ei tarvita liitospisteitä muuhun kuin laadunvalvontaan. Kartoitetun aineiston tiheys on yleensä 100-1000 pistettä neliömetrillä ja kartoitettu alue ulottuu muutamasta metristä jopa sadan metrin päähän.

Verrattuna perinteiseen ilmalaserkeilaukseen on mobiililaserkeilaus tehokkaampi, joustavampi ja edullisempi tapa mitata laajoja alueita. Lisäksi keilattu aineisto on tarkempaa, kuin lentokoneesta tai lennokista kuvattu. Keilattuun aineistoon yhdistetty valokuva-aineisto tarkentaa kohteiden tunnistamista ja kartoitusta. Keilattujen kohteiden sijainti saadaan helposti yli 10 sentin tarkkuudella selville.

Koska keilatun aineiston pistemäärä on huomattavan suuri, vaatii sen käsittely paljon aikaa ja totuttelua.



Kuvio 4. Autoon asennettu laserkeilain käyttää GNSS-IMU- paikannusta suoraan keilatun aineiston georeferointiin.

GPS Antenna

Camera

Scanner

IMU



Kuvio 5. Kuvassa geodeettisen laitoksen rakentama ROAMER-mobiilikeilausyksikkö asennettuna auton katolle.

#### 4.1 Kamera osana mobiilikeilausyksikköä

Digitaalisia kuvia tai videota kerätään yleensä muun keilausaineiston yhteydessä. Kamera tai kamerat ovat synkronisoitu toimimaan yhdessä GNSS:n ja IMU:n kanssa. Synkronisoinnin ansiosta saadut kuvat ovat georeferoituja. Saatuja kuvia voidaan myös käyttää kerätyn keilausaineiston pistepilvien värjäämiseen oikeilla väreillä. Tämä helpottaa keilattujen kohteiden tunnistamista, sillä saadusta pistepilviaineistosta on hyvin vaikea erottaa esimerkiksi mikä liikennemerkki on kyseessä tai mitä tekstiä tietyssä paikassa lukee. Tästä syystä kamera on yhtä tärkeä osa mobiilikeilainta kuin itse laserkeilain.

Kameran tai kameroiden sijainti määräytyy sen käyttö tarpeen mukaan. Eteenpäin suunnattu kamera kerää tärkeää tietoa esimerkiksi liikennemerkkeistä, tiemerkinnöistä tai tiestä itsestään. Sivulle suunnatut kamerat taas sopivat hyvin rakennusten julkisivujen kuvaamiseen. Se kuinka tiheään kuvia otetaan riippuu keilausyksikön nopeudesta ja kameran ominaisuuksista, sekä

käyttäjän tarpeesta. Tiheämmällä kuvausvälillä saadaan kerättyä enemmän dataa, mutta silloin keilausaineiston koko kasvaa huomattavasti. Keilaimissa käytettävät kamerat ovat yleensä niin suuriresoluutioisia, että niiden ottamat kuvat vievät 2-10 kertaa enemmän tilaa kuin itse keilausaineisto.

(Yen, Akin, Lofton, Ravani, Lasky. 2010. 29)

## 4.2 Käyttökohteet

1980-luvulla puhuttaessa liikkuvasta kartoituksesta, tarkoitettiin sillä lähinnä videokameroiden avulla ajoneuvosta tapahtuvaa kartoitusta. 2000-luvulle siirryttäessä sensoreiden sekä paikannus- ja navigointitekniikan kehittyessä mahdollistivat nykyisen kaltaisen liikkuvan kartoituksen ajoneuvosta. Suurelle yleisölle ehkä näkyvimpiä liikkuvan kartoituksen sovelluksena on Googlen Street View-palvelu, joka julkaistiin Suomessa helmikuussa 2010. Vaikka-kaan Street Viewissä ei ole käytetty kartoitukseen muuta kuin suuria määriä valokuvia ajoneuvosta otettuna, voidaan sitä pitää siitä huolimatta mobiilikartoitussovelluksena. Mobiiliskannauksella voidaan kerätä nopeasti ja vaivat- tomasti suuria määriä georeferoitua spatiaalista dataa. Laserkeilatusta piste- pilviaineistosta ja korkearesoluutioisista valokuvista yhdessä tarkan sijainti- tiedon avulla voidaan luoda tarkkoja 3-ulotteisia tietomalleja, joita voidaan käyttää suunnittelussa, rakentamis- sa, ylläpidossa ja inventoinnissa.

Tehokkaat mobiiliskannauslaitteet mahdollistavat jopa kokonaisten kaupun- kien tai liikenneverkostojen kartoittamisen liikenteen nopeudella ja yhdellä mittausseksiolla, kun se perinteisellä paikallaan olevalla keilaimella on hidas- ta ja jopa vaarallista. Skannatusta aineistosta saadaan lopputuloksena geo- referoitu pistepilviaineisto tai tarvittaessa pidemmälle jalostettu tietomalli. Ra- kennetusta ympäristöstä skannattua aineistoa voidaan käyttää uusien raken- teiden suunnitteluun ja sovittamiseen olemassa olevaan ympäristöön virtuaa- lisesti. Se mahdollistaa eri vaihtoehtojen tarkastelun jo ennen varsinaista ra- kentamista.

Aikaisemmin maaston topografisessa mallintamisessa keskityttiin ainoastaan maanmuotojen ja korkeusvaihteluiden kuvaamiseen. Tietotekniikan kehitty- misen myötä on tullut tarvetta sisällyttää karttoihin ja muihin malleihin kolmi- ulotteisia kohteita, kuten taloja, siltoja tai kokonaisia kaupunkiympäristöjä.



Perinteisesti käytetyt kartat ja ilmakuvat ovat vanhanaikaisia kolmiulotteiseen suunnitteluun. Mobiilikartoituksessa kuvattu perspektiivi on lähes sama kuin autoilijalla tai jalankulkijalla, joten ajan tasalla olevat kolmiulotteiset aineistot parantavat ja nopeuttavat vaikkapa kaupunkiympäristöjen suunnitelu- ja parannushankkeita.

Mobiilikartoituksella tuotetaan yksityiskohtaista kolmiulotteista kuva- ja piste-pilviaineistoa kaupunkiympäristöistä. Liikkuvalta alustalta suoritettavat kartoitukset ovat erittäin käyttökelpoisia tie- ja katualueiden mallintamiseen. Saadusta aineistosta voidaan lisäksi tutkia melun ja saasteiden leviämistä liikenneväylien läheisyydessä sijaitseville asuinalueille tai arvokkaisiin luonto- ja ympäristökohteisiin. Tuotetuista malleista voidaan seurata esimerkiksi liikenneväylien pintavaurioita sekä tutkia rakennettujen kohteiden, kuten siltojen ja tunneleiden muodonmuutoksia. (Positio 2/2010. 6-8)

#### **4.3 GNSS**

GNSS eli Global Navigation Satellite System tarkoittaa eri maiden ylläpitämää paikannusjärjestelmien kokonaisuutta. Näitä ovat muun muassa USA:n ylläpitämä GPS-järjestelmä, Venäläinen Glonass, sekä Euroopan maiden yhdessä toteuttama Galileo-järjestelmä.

Vaikka GPS-järjestelmä kehitettiin alunperin sotilaskäyttöön huomioitiin sen kehityksessä alusta alkaen sen mahdollisuuden siviilikäytössä. Siinä pyrittiin muutaman metrin tarkkuuteen, hyvään häiriönsietokykyyn ja yksisuuntaisuuteen. Yksisuuntaisuudella tarkoitetaan että paikantimen käyttäjä ainoastaan vastaanottaa signaalia satelliiteista, eikä lähetä sinne mitään. GPS-järjestelmä koostuu kolmesta eri lohkoista: satelliittilohko, valvontalohko ja käyttäjälohko. Satelliittilohkoon kuuluu vähintään 24 satelliittia. Satelliitit kiertävät maapalloa noin 20200km korkeudessa, kuudella eri ratatasolla. Valvontalohko muodostuu päävalvonta-asemasta, joka sijaitsee Colorado Springsin läheisyydessä, sekä useista antenni- ja seuranta-asemista. Valvonta-asemat sijaitsevat päiväntasaajan molemmin puolin ja niiden tehtävänä on määrittää ja ennustaa satelliittien ratoja sekä kellovirheitä. Tarvittaessa valvonta-asemat voivat myös siirtää satelliitteja.

(Laurila. 2008. 289-291)

#### 4.4 Satelliittipaikannuksen toimintaperiaate

Satelliittipaikannus perustuu etäisyyksien mittaamiseen. Siinä havainnoidaan satelliittien lähettämiä signaaleja. Paikan määrittämiseen tarvitaan vähintään kolme eri satelliittia, ja kun satelliittien paikat tiedetään havaintohetkellä saadaan havaitusta signaalista havaitsijan sijainti laskettua. Paikannus perustuu etäisyyksien tai etäisyyserojen laskentaan. Vaikkakin kolmella satelliitilla saadaan jo havainto laskettua, tarvitaan tarkkaan havainnointiin useampi satelliitti. Useampaan satelliittiin tehty havainnointi pienentää laskentavirhettä ja näin ollen parantaa havainnon tarkkuutta.

Satelliittipaikannuksessa on käytössä kolme eri perusmittaustapaa. Näitä mittaustapoja, eli moodeja ovat: Absoluuttinen paikannus, differentiaalinen paikannus (DGPS) sekä vaihehavaintoihin perustuva suhteellinen mittaus.

Absoluuttinen paikannus on käytössä esimerkiksi tavanomaisissa käsi-GPS-laitteissa ja autonavigaattoreissa sekä karttaplottereissa. Siinä käyttäjä tarvitsee ainoastaan yhden laitteen, jonka etäisyydenmittaus perustuu C/A-koodihavaintoihin. Absoluuttisen paikannuksen tarkkuus on vain alle 20 metrin luokkaa, joten sen tarkkuus ei riitä tarkkoihin kartoitushavaintoihin.

Differentiaalinen paikannus (DGPS) perustuu tunnetulla pisteellä olevan tukiaseman lähettämään korjaussignaaliin. Kun tunnetulla pisteellä oleva tukiasema lähettää korjaussignaalia, voidaan tietyt systemaattiset virheet korjata ja päästään suurempaan tarkkuuteen kuin absoluuttisessa mittauksessa. DGPS:n tarkkuus on alle kaksi metriä. Differentiaalisen paikannuksen tarkkuus riittää yksinkertaiseen paikkatietojen keräämiseen, jossa ei tarvita suuria tarkkuuksia.

Kolmesta tarkin on vaihehavaintoihin perustuva suhteellinen mittaus. Kaikki tarkkaa satelliittimittausta tarvitsevat mittaukset suoritetaan tätä tapaa käyttäen. Suhteellisessa mittauksessa käytetään joko fyysistä tunnettua tukiasemaa (Reaaliaikainen kinemaattinen mittaus) tai laskennallista tukiasemaa (Virtual Reference Station). Käytössä on kaksi samanaikaisesti toimivaa havainnointilaitetta. Sijainti määritetään vertailuvastaanottimen suhteen, joka sijaitsee tunnetulla pisteellä. Etäisyys mitataan toiseen vastaanottoimeen kan-

toaallon aallonpituuden avulla. Tämän mittaustavan tarkkuus on parhaimmillaan muutamia millimetrejä.

(Laurila. 2008. 298,300-301)

#### **4.5 Inertiamittausyksikkö, IMU**

Inertia on yksi klassisen fysiikan perusperiaatteista. Se on kappaleen kyky vastustaa sen liiketilan muutoksia.

Inertiamittausyksikkö eli IMU (inertial measurement unit) on laite, joka mittaa omaa sijaintiaan liikkeessä tapahtuvien muutosten avulla, kun lähtöpiste tunnetaan. Sijainti mitataan nopeudesta, asennosta ja painovoiman muutoksista, käyttäen apuna kiihtyvyysantureita ja gyroskooppeja, sekä joissain tapauksissa myös magnetometrejä. Käytettäessä useita antureita ja gyroskooppeja inertiamittausyksikön tarkkuus ja luotettavuus paranee, sillä yksi anturi mittaa muutoksia vain yhdellä akselilla. Tästä syystä IMU sisältää yleensä kolme kiihtyvyysanturia ja kolme gyroskooppia. Näin saadaan mitattua X,Y ja Z akselilla tapahtuvat muutokset.

Inertiamittausyksikön tarkkuuteen vaikuttavat kiihtyvyysmittareiden ja gyroskooppien ominaisuudet ja tarkkuudet.

Usein kiihtyvyysmittarit ovat joko heilureita tai värähtelyyn perustuvia. Yksinkertaisimmillaan kiihtyvyysmittari sisältää tunnetun massan, joka on asennettu kahden jousen varaan. Kiihtyvyysmittarin liikkuesssa, sen sisällä oleva massa pyrkii säilyttämään sijaintinsa, eli se liikkuu vastakkaiseen suuntaan suhteessa kiihtyvyysmittarin kehukseen, jolloin toinen jousista venyy ja toinen painuu kasaan. Tästä saadaan ratkaistua kiihtyvyys.

Gyroskooppeja on kolmea eri päätyyppiä: pyörivämassainen, optinen ja värähtelevä. Jokaisen toimintaperiaate perustuu eri fysiikan lakeihin.

Perinteisen eli pyörivämassaisen gyroskoopin toiminta perustuu liikkeen säilyttämisen lakiin. Se on osa Newtonin toista dynamiikan lakia. Inertia vastustaa kappaleen liikenopeuden- ja suunnan muutosta.

Optisia gyroskooppeja on kahta eri päätyyppiä: Kuituoptinen ja rengaslaser-gyroskooppi. Molempien toimintaperiaate on hyvin samankaltainen. Kuituop-

tisessa gyroskoopissa lähetetty valopulssi kulkee valokuituja pitkin gyroskoopin akselin ympäri. Akselin ympäri tapahtuva pyörähdysliike aiheuttaa valopulssin kulkunopeudessa muutoksen, josta voidaan mitata kulmanopeus. Rengaslasergyroskoopissa valopulssi heijastetaan peilien kautta akselin ympäri.

Värähtelevä gyroskooppi perustuu harmoniseen värähtelyyn. Värähtelyn lähteenä voi olla esimerkiksi jousi, rengas, sylinteri tai puolipallo. Kaikki nämä toimivat samalla periaatteella. Värähtelevässä gyroskoopissa havaitaan värähtelevän kappaleen corioliskiihtyvyyttä, kun gyroskooppiä pyöritetään.

Inertiamittausyksikön heikkoutena on sen tarkkuuden heikentyminen mittauksen edetessä.

(Groves. 2008. 6-8,97-109)

#### 4.6 Riegl VMX-450

Skannerin tiedot	
Keilain	2x RIEGL VQ-450
Mittausnopeus	1 100 000 pulssia sekunnissa
Skannausnopeus	400 profiilia sekunnissa
Mittausetäisyys	1,5m – 800m
Ulkoinen tarkkuus	8mm
Sisäinen tarkkuus	5mm
Taajuus	150kHz-550kHz
IMU/GNSS tiedot	
Sijainti (absoluuttinen)	20mm-50mm
Sijainti (relatiivinen)	10mm
Suuntima	0,015°
Kierto ja kaltevuus	0,005°



Kuvio 6. Riegl VMX-450 mobiiliskanneri

Riegl VMX-450 mobiiliskanneri yhdistää kaksi VQ-450 skanneria ja korkealaatuisen IMU/GNSS-yksikön, yhdeksi mobiiliskannauslaitteeksi. Laite on valmiiksi kalibroitu tehtaan puolesta, joten käyttäjän ei tarvitse kalibroida systeemiä uudelleen, vaikka se siirrettäisiin alustalta toiselle. Keilaimeen on saatavissa optiona 6 kameran järjestelmä, jolloin saadaan keilatusta aineistosta georeferoituja ja aikaleimattuja kuvia. Saadut kuvat prosessoidaan projekti-koordinaatistoon automaattisesti.

(Riegl VMX-450 Datasheet. 2013)

#### 4.7 Trimble MX8

Trimble MX8 on täysin integroitu mobiilikartoitusjärjestelmä, joka on varustettu kahdella erittäin suorituskykyisellä 360° mobiililaserkeilaimella, joilla on mahdollista kerätä jopa millimetritarkkaa sijaintitietoa kohteesta. Järjestelmään on integroitu seitsemän suurtaajuus-digitaalikameraa, jotka kuvaavat samalla mitattavaa kohdetta.

Skannerin tiedot	
Keilain	2x RIEGL VQ-250
Mittausnopeus	600 000 pulssia sekunnissa

Skannausnopeus	200 profiilia sekunnissa
Mittausetäisyys	1,5m – 800m
Ulkoinen tarkkuus	10mm
Sisäinen tarkkuus	5mm
Taajuus	50kHz-300kHz
IMU/GNSS tiedot	
Sijainti (absoluuttinen)	30mm-50mm
Sijainti (relatiivinen)	20mm
Suuntima	0,020°
Kierto ja kaltevuus	0,008°



Kuvio 7. Trimble MX8 mobiiliskanneri.  
(Trimble. 2013)

## **5 RATAMITTAUKSET**

### **5.1 Radalla työskentelyä ohjaavat määräykset ja asiakirjat**

Työskentelyä radalla ohjaa Ratahallintokeskuksen määräykset ja ohjeet. Näiden ohjeiden runkona toimii Radan tekniset ohjeet (RATO). RATO sisältää perustiedot radan rakentamisesta, suunnittelusta ja kunnossapidosta. Ratateknisissä ohjeissa oleva Raiteen mittaus- ja merkitsemisjärjestelmä on perustana kaikelle radalle suoritettavalla mittauksella ja merkinnällä. Radalla saa käyttää ainoastaan RATO:n tai Ratahallintakeskuksen (RHK) hyväksymiä laitteita ja rakenteita.

(Ratatekniset määräykset ja ohjeet, 55-70)

### **5.2 Mittaustyöt**

Ratateknisissä mittauksissa on käytössä valtakunnallinen kartastokoordinaattijärjestelmä (kkj). Poikkeustapauksissa voidaan käyttää myös muita paikallisia koordinaattijärjestelmiä, mutta tällöin on määritettävä muuntokertoimet käytettävän koordinaattijärjestelmän ja kkj:n välille. Tähän poikkeuksena on kuitenkin geometrian suunnittelu, joka on aina tehtävä käyttäen paikallista koordinaattijärjestelmää eikä silloin muuntokertoimia saa käyttää. Korkeusjärjestelmänä on yleisesti käytössä N60-järjestelmä, mutta myös muita korkeusjärjestelmiä esiintyy.

(Ratatekniset määräykset ja ohjeet, 55-70)

### **5.3 Kartoitus**

Yksi yleisimmistä radalla suoritettavista mittauksista on raiteen kartoitus. Kartoitusta tehdään kun, raiteelle tehdään lopputarkistus tai siihen suoritetaan muutostöitä. Takymetrillä kartoitettaessa mitataan raiteen johtokiskon korkeusviiva sekä raiteen keskilinja kiskoja välillä. Kartoitus tapahtuu 20 metrin välein. Raidetta kartoitettaessa on tärkeä olla selvillä kumpi kiskoista on johtokisko ja huomioida johtokiskon vaihtuminen kaarteissa sisempään kiskoon. Kartoitukset dokumentoidaan ja niistä tulee käydä ilmi paalulukemat ja erot teoreettiseen kiskon sijaintiin. Raidetta kartoitettaessa on huomioitava radalla käytettävä kilometrilyhennys. Sillä tarkoitetaan paalulukujen tasoitusta, jolla saadaan tehtyä radan linjauksen muutostöitä muuttamatta koko ratakilometri-

järjestelmää. Ratapaalutus alkaa Helsingistä, jossa sijaitsee rataverkoston nollakilometri. Paaluluku kasvaa aina pois päin Helsingistä. Kilometrilyhennyksen vuoksi yksi ratakilometri ei vastaa yhtä kilometriä, vaan se pituus vaihtelee paikasta riippuen aina muutamasta metrillä useisiin kilometreihin. (Ratatekniset määräykset ja ohjeet, 55-70)

#### **5.4 Maastomalli**

Rata-alueella tehtäviä maastomalleja käytetään suunnittelun lähtöaineistona. Maastomallista voidaan määrittää radan lopulliset rakenteet, kuivatusjärjestelmät ja sitä voidaan käyttää hyväksi rakentamisen aikaisissa määrälaskennoissa. Maastomallien tarkkuus vaihtelee sen käyttötarkoituksen mukaan. Meluvalleja ja kuivatussuunnitelmia varten tehtävien maastomallien ei tarvitse olla yhtä tarkkoja, kuin radan suunnittelua varten tehtävät maastomallit. Takymetrillä tehtävissä maastomalleissa maaston taitekohdat kartoitetaan taiteviivoina ja muut alueet hajapisteinä. Hajapisteitä ei saa mitata säännölliseen linjastoon tai ruudukkoon.

(Ratatekniset määräykset ja ohjeet, 55-70)

#### **5.5 Radan pisteet**

Radalla käytettävä kiintopisteistö muodostuu pääasiassa 4. ja 5. luokan pisteistä. Poikkeustapauksissa on käytössä joka 3. luokan pisteitä. Ratateknisessä mittausperustahierarkiassa 4. luokan pisteet muodostavat runkopisteverkon, jota käytetään 5. luokan pisteiden mittauksessa lähtöpisteinä. Pisteitä rakennettaessa on otettava huomioon, että pisteet eivät pääse liikkumaan tai tuhoutumaan rata-alueella. 4. luokan tasorunkopisteet ja korkeuskiintopisteet on mahdollisuuksien mukaan rakennettava kallioon, suureen maakiveen tai muuhun liikkumattomaan kohteeseen kiintopistepulttina. 5. luokan pisteet voidaan rakentaa myös maahan ankkuroitaviin teräsputkiin. 4. luokan pisteiden pääpaino on liikkumattomuus ja säilyvyys, kun 5. luokan pisteiden pääpaino on käytettävyydessä. Pisteet merkitään maastoon paaluilla, joka sijaitsee 150mm-200mm etäisyydellä pisteestä. Paalu on väriltään keltainen ja siinä lukee pisteen numero. Paalu on korkeintaan 1000mm korkea, eikä se saa sijoittua ATU:n sisäpuolelle.



4. luokan pisteet sijaitsevat pisteparina 2-3km välein rataverkolla. Pisteparilla on oltava näköyhteys ja pisteiden on kyettävä toimimaan toistensa varamerkkeinä sekä 5. luokan pisteiden mittauksen lähtöpisteinä. 5. luokan pisteet sijaitsevat rataverkolla noin 300 metrin välein. Pisteitä mitattaessa on pyrittävä lähtöpisteinä käyttämään EUREF89-pistettä, jolla on määritetty myös kkj-koordinaatit. Näin varmistetaan, että säilytetään yhteys Eurooppalaiseen koordinaattijärjestelmään.

(Ratatekniset määräykset ja ohjeet, 55-70)

### **5.6 Mobiilikeilaus osana ratamittauksia**

Nykyisen yhteiskuntakehityksen myötä on noussut tarvetta saada uusia nopeita vaihtoehtoja lyhyille ja keskipitkille matkoille. Tämä on johtanut siihen, että erittäin nopeita junayhteyksiä on alettu kehittää eripuolilla maailmaa.

Etusijalla kehityksessä ovat nopeus, matkustusmukavuus ja turvallisuus. Rataoperaattorit vaativat hyvin ylläpidetyn ratageometrian hyödyntääkseen täydellisesti rataverkostoaan.

Yli 300 kilometriä tunnissa liikkuvat junat vaativat millimetritarkan radan, jotta junat pysyvät kiskoilla ja saavutetaan hyvä matkustusmukavuus.

Pelkästään keilaamalla saatava kartoitusaineisto rata-alueelta on rajoittunutta, mitä tulee itse kiskojen sijaintiin. Keilattu aineisto soveltuu kuitenkin erinomaisesti selvittämään junan esteetöntä liikkumista rataverkostossa. Keilaamalla voidaan selvittää raiteiden lisäksi niiden välitön ympäristö ja rakenteet, sekä varmistua rautatien suoja-alueiden ulottuman esteettömyydestä. Keilattusta aineistosta voidaan selvittää yksittäiset tolpat, ratapölkyt ja niiden kunto, sekä opastimet ja laituri- ja muut ratarakenteet. Käyttämällä muita kartoitusmetodeja näiden tietojen kerääminen olisi hyvin työlästä ja aikaa vievää.

### **5.7 Amberg GRP5000**

Amberg GRP5000-järjestelmä on radanmittausvaunu. Se sisältää laserkeilaimen ympäristön kartoitusta varten, sekä erityisen radanmittausyksikön, jolla saadaan kerättyä tietoa ratageometriasta. Raiteita käyttävät operaattorit tarvitsevat laadukkaan ratageometrian ja toimivan liikenneympäristön voidakseen toimia taloudellisesti ja turvallisesti koko raideverkostossa. GRP5000 on mobiili radanmittausvaunu, joka hyödyntää ratageometrian kartoituksessa teknologiaa, jolla päästään erinomaiseen tarkkuuteen jopa 3km tuntivauhdil-

la. Vaunu sisältää mittauslaitteet jotka vertaavat mitattua ratageometriaa teoriaan ja varoittaa toleranssiarvot ylittävistä arvoista. Vaunun järjestelmä tunnistaa painaumat rataprofiilissa ja prosessoi tarvittavat sujutukset automaattisesti toleranssiarvoja noudattaen. Vaunun rekisteröidessä toleranssiarvot, voidaan tällä alueella tihentää kartoitusta tarvittaessa. Saatu data voidaan lähettää suoraan tukemiskoneelle ilman välikäsiä. Näin mittaukset voidaan tehdä ylläpidon yhteydessä.

Rataympäristön mallintaminen onnistuu vaunulla siihen liitettävän laserkeilaimen avulla. Keilaimen avulla voidaan kartoittaa raiteet ja rakenteet sekä avoimen tilan ulottuma (ATU). Näin varmistutaan ympäristön esteettömyydestä. Keilatusta aineistosta on nopea selvittää esimerkiksi korjausta vaativat opastimet, ratapölkyt, laiturirakenteet tai ATU:n sisällä olevat esteet. Kevyen rakenteensa ansiosta mittausvaunua on helppo liikutella radalla. Eikä sen käyttö vaadi raideliikenteen pysäyttämistä mittauksen ajaksi, sillä se voidaan nostaa junan lähestyessä pois kiskoilta.

Amberg GRP5000-järjestelmän tekniset tiedot:

Järjestelmän kokoonpano		
Raideväli (mm)	1000, 1067, 1435, 1520,1524, 1600, 1668, 1676	
Profiiliyksikkö	Amberg Profiler 5002 ja 5003	
Yhteensopivuus	Leica HDS6000/6100, Z+F Imager 5006/5006i	
Profiler 5002/5003		
Skannerin tyyppi	Infrapuna vaihe-ero	
Mittausalue	79 m	
Sensorin suorituskyky		
Profiilimittaus (sivumitat ja korkeudet radan geometriasta)		
Maksimi mittausnopeus	500000pts/s	
Profilerin pyörimisnopeus	5002 100rps	5003 50rps
Radan geometrian mittaus (paikka, raideväli, kallistuma)		

Kinemaattinen mittaus	TPS: 7Hz GPS: 10Hz
Järjestelmän tarkkuus	
Radan geometria -GRP + takymetrimittaus	+/- 5mm
Kallistus	+/- 1mm
Raideväli	+/- 0,3mm
Jatkuvan mittauksen tarkkuus	
Profiilin tarkkuus -radan geometrian suhteen -5 metrin etäisyydeltä	+/- 10mm
Pisteen tarkkuus kohteessa -GRP + takymetri	+/- 1,5cm
Koordinaattimittaus	
Leica takymetrit -moottoroidut, ATR -etäkäyttö	TS30 TPS1200 TPS2000
Leica GPS	GPS1200
Virtalähde	
GRP System	GBC 5000,akku, ladattava
Akun toiminta-aika	>5h
Panasonic ohjaustietokone	Li-Ion akku, ladattava
Akun toiminta-aika	>4h
Ympäristöolosuhteet	
Valaistusolosuhteet	Pilkkopimeästä auringonvaloon
Lämpötila-alue	-10° C - +45° C
Kosteus	Ei-kondensoiva
Paino	
GRP 5000 -mittausvalmis -sisältäen akut ja tietokoneen	56 kg

Järjestelmän käyttö ja tyypilliset suorituskyvyt

Clearance Plus-sovellus
-------------------------

Tyypilliset mittaustehtävät	Vapaan läpikulun mittaus ATU-mittaus Rakennemittaus Ratakalusteiden tarkistusmittaus Rakenteiden kuntomittaus	
Tyypillinen projektin suorituskyky		
Tehtävä	Vapaan läpikulun mittaus	Erityyppiset tutkimukset
Mittausosio, pituus	1000m	1000m
Tarvittava pistetiheys	10x10mm	20x20mm
Mittaus		
Tyypillinen mittausnopeus *) GRP + takymetri / GRP + GPS **)	3km/h	1km/h*) 3km/h**)
Radan varausaika	20min	60min* 20min**
Radan rakennetieto	Paaluluku, raideväli, kallistus	Paaluluku, raideväli, kallistus, 3D-ratatieto
Analyysit		
Käsittelyaika interaktiivinen / automaattinen	1,5h / 6h	1,5h / 6h
Tulokset	2D vapaanläpikulun kartta, poikkileikkaukset	3D pistepilvi, 3D rata- geometria, poikkileikkaukset

(Amberg Clearance Plus datasheet)



Kuvio 8. Amberg GRP5000-Radanmittausvaunu.

## LÄHTEET

Amberg Technologies AG. 2010. Amberg Clearance Plus Datasheet. 8/2010

Amberg Technologies AG. Sveitsi.

Groves, Paul D. 2008. Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation systems. Artech House. Boston, London.

Joala, V. 2006.

Laserkeilauksen perusteita. Luentomoniste 30.11.2006

Kin S. Yen, Kevin Akin, Arvern Lofton, Bahram Ravani, Ty A Lasky 2010.

Using Mobile Laser Scanning to Produce Digital Terrain Models of Pavement Surfaces. California Department of Transportation.

Kostamo, M. Klemets, A. 6/2012 Trimble MX8 Mobile Mapping

Trimble MX8 Mobiilikartoitusjärjestelmä. <http://www.geotrim.fi/shop/trimble-mx8-mobiilikartoitusjarjestelma/?navdisp=5798> 9.4.2013

Kukko. A. 2012.

[http://foto.hut.fi/opetus/290/julkaisut/Antero\\_Kukko/Laserkeilaimen\\_valinta\\_lahifotogrammetrisiin\\_mittauksiin.pdf](http://foto.hut.fi/opetus/290/julkaisut/Antero_Kukko/Laserkeilaimen_valinta_lahifotogrammetrisiin_mittauksiin.pdf) 14.11.12

Kukko, A. Hyypä, H. Kaartinen, H. Ahlavo, M. Vaaja, M. Positio 2/2010

Laurila, P. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet Rovaniemen ammattikorkeakoulun julkaisusarja D nro 3. Rovaniemen ammattikorkeakoulu.

[https://arkki.ramk.fi/RAMK/julkaisutoiminta/Julkaisut/RAMK%20D3\\_Mittaus%20ja%20kartoitustekniikan%20perusteet.pdf](https://arkki.ramk.fi/RAMK/julkaisutoiminta/Julkaisut/RAMK%20D3_Mittaus%20ja%20kartoitustekniikan%20perusteet.pdf)

Nordic Geo Center, Heinonen, H. 2012. <http://www.geocenter.fi/riegl/>

Proacon Oy. 2012. [www.proacon.fi/yritysesittely](http://www.proacon.fi/yritysesittely) 13.11.12

Riegl VMX450-datasheet 20.09.2012.

[http://www.riegl.com/uploads/tx\\_pxpriegldownloads/10\\_DataSheet\\_VMX-450\\_20-09-2012.pdf](http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/10_DataSheet_VMX-450_20-09-2012.pdf) 9.4.2013

Trafi .2012.

[http://www.trafi.fi/filebank/a/1337074660/836e9548a87efa93d0f80094a068db59/9680-kumottu-RAMO\\_2\\_Radan\\_geometria\\_2000.pdf](http://www.trafi.fi/filebank/a/1337074660/836e9548a87efa93d0f80094a068db59/9680-kumottu-RAMO_2_Radan_geometria_2000.pdf) 13.11.12